大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔肠道形态、消化酶活性及盲肠发酵参数的影响

田　刚　鲁院院*　余　冰　曾绘锦　陈代文　罗玉衡　蔡景义

（四川农业大学动物营养研究所，动物抗病营养教育部重点实验室，成都 611130）

摘　要：本试验旨在研究饲粮中不同比例大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔肠道形态、消化酶活性及盲肠发酵参数的影响。试验选取体重接近的 35 日龄断奶新西兰白兔 100 只，随机分为 5 组，每组 10 个重复，每个重复 2 只兔。对照组（C 组）和 4 个替代组（S25、S50、S75 和 S100 组）分别饲喂 5 种不同比例（0、25%、50%、75%和 100%）大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉的试验饲粮。试验期 15 d。试验第 15 天早晨空腹称重后，从各组不同重复中选取 4 只接近平均体重的试验兔，屠宰取小肠和盲肠组织、黏膜和食糜样品用于分析。结果表明：各组间平均日采食量、平均日增重和料重比均无显著差异（P>0.05）。各组间小肠各段的绒毛高度、隐窝深度、绒毛高度与隐窝深度比值及盲肠隐窝深度均无显著差异（P>0.05）。S50 组十二指肠中蔗糖酶活性显著高于 S75 和 S100 组（P<0.05），而各组间其他各肠道各消化酶活性均无显著差异（P>0.05），但均以 S50 组消化酶活性较高。各组间盲肠 pH 和氨态氮、总挥发性脂肪酸、乙酸、丙酸、丁酸含量以及乙酸/（丙酸+丁酸）均无显著差异（P>0.05）。基于 16S rRNA 二代测序结果发现，C 组与 S100 组盲肠微生物在门水平及在属水平上的组成均无明显差异。由此可见，大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉不影响生长肉兔肠道形态、消化酶活性及盲肠发酵指标，大黑山薏苡草粉可完全替代生长肉兔饲粮中的苜蓿草粉，且推荐替代比例为 50%。

关键词：大黑山薏苡草粉；生长肉兔；肠道形态；肠道酶活性；盲肠发酵

中图分类号：S816；S829.1　文献标识码：A　文章编号：

家兔作为一种小型节粮草食动物，饲粮中纤维质量和含量与其健康密切相关[1]。目前，优质的苜蓿草粉可为家兔提供部分纤维，但其资源有限，价格昂贵，影响了养兔业的经济效益[2]。因此，新型粗饲料的开发具有重要意义。薏苡本身为禾本科植物，研究表明，不仅薏苡仁中富含蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、矿物质、维生素等多种营养物质，而且其根、茎、叶中同样含有丰富的氨基酸、矿物质等多种营养成分，具有极高的饲用价值[3-4]。此外，薏苡对治疗胃肠道健康作用明显[3-6]。薏苡胚乳及麸皮和去壳薏苡的乙醇提取物在保护胃肠

收稿日期：2018-03-20
基金项目：四川省科技支撑计划项目（2016NZ0002）；四川农业大学“双支计划”项目
作者简介：田　刚（1974—），重庆黔江人，副教授，博士，主要从事家兔营养与饲料高效利用研究。E-mail: tgang2008@126.com
*同等贡献作者

道健康，调节肠道微生物方面有明显效果[6-8]。薏苡仁可改善肠道的屏障功能，缓解腹泻，增加肠道中的乳酸杆菌数量及挥发性脂肪酸含量[8-11]。生薏仁粉可促进小鼠胃肠动力，经过中药炮制方法麸炒后的薏仁粉具有止泻的作用[12]。去壳发酵薏苡可以平衡仓鼠盲肠生物种群[13]。薏苡仁中的抗性淀粉可降低小鼠肠道中的致病菌数量，增加双歧杆菌数量，改善肠道组织形态[14]。薏苡仁油复乳可促进肠道吸收[15]。同时青贮薏苡秸秆可促进纤维分解菌的繁殖[16]。综上可见，薏苡仁及相关产品对肠道健康有一定的调节和保护作用，且在动物试验中也获得较好的生长性能[17-19]。但是目前薏苡应用于家兔饲粮中对其肠道健康的影响未见报道。经本课题组前期研究发现，大黑山薏苡草粉营养成分丰富，对家兔具有较高的营养价值，并获得了较理想的生长性能及养分消化率[17,19]。因此，本试验在之前研究的基础上，进一步研究大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对家兔肠道形态、肠道酶活性及盲肠发酵参数的影响，最终为家兔饲料的开发提供更有力的参考价值。

1　材料与方法

1.1　试验设计

本试验采用单因素试验设计。按体重相近原则，随机将 100 只 35 日龄的新西兰断奶纯种白兔分为 5 组，每组 10 个重复，每个重复 2 只兔。对照组（C 组）和 4 个替代组（S25、S50、S75 和 S100 组）分别饲喂 5 种不同比例（0、25%、50%、75%和 100%）大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉的饲粮。试验期 15 d。对照组饲粮的消化能及粗蛋白质、粗纤维的含量分别为 11.28 MJ/kg、17.50%、17.14%，大黑山薏苡草粉的消化能及粗蛋白质、粗纤维的含量分别为 5.69 MJ/kg、13.46%、29.58%，苜蓿草粉的消化能及粗蛋白质、粗纤维的含量分别为 7.40 MJ/kg、15.30%、26.10%。试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	组别 Groups				
原料 Ingredients	C	S25	S50	S75	S100
大黑山薏苡草粉 *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal		4.00	8.00	12.00	16.00
苜蓿草粉 Alfalfa meal (CP 14%～15%)	16.00	12.00	8.00	4.00	
玉米 Corn	21.41	21.22	21.07	21.12	22.43
豆粕 Soybean meal	15.34	15.69	16.21	16.80	17.66
小麦麸 Wheat bran	22.32	22.29	21.78	20.93	18.47
统糠 Rice bran and hull	9.07	8.87	8.74	8.63	8.57
花生壳 Peanut hull	8.96	9.01	9.08	9.19	9.49
豆油 Soybean oil	3.01	3.15	3.37	3.58	3.64

磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
石粉 Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
氯化钠 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys • HCl (98.5%)	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02
DL-蛋氨酸 *DL*-Met (98.5%)	0.40	0.32	0.32	0.32	0.32
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]					
消化能 DE/(MJ/kg)	11.28 (11.07)	11.28 (11.32)	11.28 (11.43)	11.28 (11.39)	11.28 (11.03)
粗蛋白质 CP	17.50 (17.22)	17.50 (17.42)	17.50 (17.43)	17.50 (18.13)	17.50 (18.01)
粗纤维 CF	17.14 (20.49)	17.14 (19.87)	17.14 (19.65)	17.14 (19.42)	17.14 (19.66)
中性洗涤纤维 NDF	34.81 (36.34)	35.15 (37.60)	35.37 (36.41)	35.49 (36.71)	35.21 (36.39)
酸性洗涤纤维 ADF	21.22 (25.52)	21.22 (24.58)	21.23 (24.57)	21.23 (25.00)	21.22 (25.00)
酸性洗涤木质素 ADL	7.19 (7.96)	7.11 (8.13)	7.05 (8.03)	6.98 (8.09)	6.94 (8.09)
钙 Ca	1.05 (0.97)	1.05 (0.95)	1.05 (0.95)	1.05 (0.97)	1.05 (0.99)
总磷 TP	0.59 (0.49)	0.59 (0.53)	0.59 (0.55)	0.59 (0.53)	0.59 (0.49)
总赖氨酸 TLys	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
总蛋氨酸 TMet	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kilogram of diets: Fe 30 mg，Cu 6 mg，Zn 35 mg，Mn 8 mg，Se 0.05 mg，Co 0.3 mg，I 0.4 mg，VA 6 000 IU，VD 900 IU，VE 15 IU，VK_3 1 mg，生物素 biotin 100 μg，胆碱 choline 100 mg，吡哆醇 pyridoxine 0.5 mg，核黄素 riboflavin 3 mg，VB_{12} 9 μg，烟酸 niacin 35 mg，泛酸 pantothenic acid 8 mg。

[2)] 括号外为计算值，括号内为实测值。The calculated and measured values lied outside and inside of parentheses, respectively.

1.2 样品采集及指标测定

1.2.1 生长性能

以重复为单位，每日称重并记录给料量、余料量和浪费料量，试验开始和结束时早晨喂料前称重每只动物，计算平均日采食量（ADFI）、平均日增重（ADG）和料重比（F/G）。

1.2.2 肠道形态

试验第 15 天早晨空腹称重试验兔后，从各组不同重复选取 4 只接近平均体重的动物（未

考虑性别），参照 Blasco 等[20]方法进行屠宰。动物屠宰后，分离各肠段，生理盐水轻轻冲洗内容物并将各段取 2~3 cm，置于 4%的多聚甲醛溶液中保存，用于切片制作。各组样品送于成都里来生物科技有限公司进行苏木精-伊红（HE）染色，测定十二指肠、空肠、回肠的绒毛高度（VH）、隐窝深度（CD）、绒毛高度/隐窝深度（V/C）以及盲肠 CD。

1.2.3　肠道消化酶活性

考虑到大黑山薏苡草粉和饲粮中纤维和粗蛋白质含量都较高，故选择性地测定了肠道中胰蛋白酶、蔗糖酶、果胶酶和纤维素酶的活性。

动物屠宰后，取出小肠并分离各肠段，生理盐水冲洗内容物，纵向剖开，载玻片刮取黏膜，用于测定小肠各段中胰蛋白酶和蔗糖酶活性；同时收集盲肠内容物于冻存管中，用于测定盲肠中果胶酶和纤维素酶活性。所有样品暂存于液氮中。所有酶活性测定采用南京建成生物工程研究所试剂盒，方法按相应试剂盒说明书执行。

1.2.4　盲肠发酵参数

动物屠宰后，取出盲肠，立即用 pH-3B 型酸度计测定盲肠内容物 pH（选取 3 个不同位置）。盲肠内容物样品经前处理后用瓦里安 CP-3800 型气相色谱仪测定总挥发性脂肪酸（total volatile fatty acid, TVFA）含量[21]。氨态氮（NH_3-N）含量采用比色法（波长 700 nm）测定[22]。此外，同时收取 C 组和 S100 组动物的盲肠内容物样品，装于灭菌后的冻存管中，样品送于中国科学院成都生物公司采用 16s rRNA 的二代测序方法测定微生物在门水平及在属水平上的组成。

1.3　数据处理与统计分析

采用 Excel 2013 初步整理数据，采用 SAS 9.20 进行单因子方差分析及 Duncan 氏法多重比较。$P<0.05$ 表示差异显著，$P>0.05$ 表示差异不显著。

2　结　果

2.1　不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔生长性能的影响

由表 2 可知，各组间 ADFI、ADG 和 F/G 均无显著差异（$P>0.05$）。

表 2　饲喂含不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的生长性能

Table 2　Growth performance of growing meat rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value
	C	S25	S50	S75	S100		

平均日采食量 ADFI/g	86.32	84.84	83.41	84.90	84.11	3.94	0.558
平均日增重 ADG/g	28.83	29.14	29.39	29.70	27.63	4.60	0.875
料重比 F/G	3.09	2.93	2.92	2.87	3.14	0.14	0.592

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔肠道形态的影响

由表 3 可知，各组的十二指肠、空肠、回肠的 VH、CD 和 V/C 及盲肠的 CD 均无显著差异（P>0.05），其中 V/C 整体趋势以 S50 组较优。

表 3 饲喂含不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的肠道形态

Table 3 Intestinal morphology of growing meat rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal

项目 Items		组别 Groups C	S25	S50	S75	S100	SEM	*P* 值 *P*-value
十二指肠 Duodenum	绒毛高度 VH/μm	813.36	801.27	926.33	849.43	853.86	33.66	0.791
	隐窝深度 CD/μm	144.16	143.23	151.28	137.02	131.91	3.05	0.367
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	5.33	5.59	5.87	6.14	6.43	0.29	0.803
空肠 Jejunum	绒毛高度 VH/μm	456.20	472.12	513.25	486.36	484.29	27.96	0.974
	隐窝深度 CD/μm	104.80	108.06	104.11	108.74	107.05	2.44	0.967
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	4.35	4.50	4.97	4.45	4.79	0.24	0.894
回肠 Ileum	绒毛高度 VH/μm	459.07	535.84	547.34	571.58	553.48	16.03	0.302
	隐窝深度 CD/μm	110.64	130.61	110.24	131.24	128.95	4.66	0.395
	绒毛高度/隐窝深度 V/C	4.16	4.13	4.96	4.36	4.29	0.09	0.060
盲肠 Cecum	隐窝深度 CD/μm	86.96	80.90	98.98	84.43	96.80	5.23	0.798

2.3 不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔肠道消化酶活性的影响

由表 4 可知，除十二指肠中蔗糖酶活性外，其他各肠道各消化酶活性均无显著差异（P>0.05），均以 S50 组消化酶活性相对较高。其中，S50 组十二指肠中蔗糖酶活性显著高

于 S75 和 S100 组（*P*＜0.05），与其他各组无显著差异（*P*>0.05）。

表 4　饲喂含不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的肠道消化酶活性

Table 4　Intestinal digestive enzyme activities of growing meat rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal

项目 Items		组别 Groups C	S25	S50	S75	S100	SEM	*P* 值 *P*-value
蔗糖酶 Sucrose/（U/mg prot）	十二指肠 Duodenum	88.74[ab]	91.44[ab]	95.55[b]	84.04[a]	83.21[a]	1.27	0.042
	空肠 Jejunum	129.45	135.36	187.03	154.77	142.35	5.76	0.065
	回肠 Ileum	75.07	78.99	82.22	81.74	78.94	2.03	0.780
胰蛋白酶 Trypsin/（U/mg prot）	十二指肠 Duodenum	564.59	594.44	600.88	585.19	580.36	34.70	0.998
	空肠 Jejunum	1 041.40	1 099.80	1 118.46	1 075.78	1 094.53	36.54	0.970
	回肠 Ileum	1 365.78	1 416.23	1 427.33	1 386.97	1 323.10	26.73	0.713
果胶酶 Pectinase /(U/g prot)	盲肠 Cecum	76.54	78.05	79.25	78.58	78.75	0.85	0.897
纤维素酶 Cellulose/(U/g prot)	盲肠 Cecum	208.34	209.51	211.62	209.43	209.82	0.77	0.750

2.4　不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔盲肠发酵参数及微生物组成的影响

由表 5 可知，各组的盲肠 pH 及 NH_3-N、TVFA、乙酸、丙酸、丁酸含量以及乙酸/（丙酸+丁酸）均无显著差异（*P*>0.05）。其中，盲肠 NH_3-N 含量以 S50 组较高。同时 C 组和 S100 组之间的盲肠微生物在门水平及属水平的组成均无明显差异（图 1 和图 2）。

表 5　饲喂含不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的盲肠发酵参数

Table 5　Cecal fermentation parameters of growing meat rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal

项目　　组别 Groups　　SEM　　*P* 值

Items	C	S25	S50	S75	S100		*P*-value
pH	6.61	6.47	6.36	6.50	6.52	0.04	0.400
氨态氮 NH_3-N/（mmol/L）	14.07	15.11	15.46	14.26	14.12	0.27	0.389
总挥发性脂肪酸 TVFA/（mmol/L）	45.96	48.52	46.14	48.69	47.73	2.09	0.989
乙酸 Acetic acid/%	83.78	83.12	83.92	84.71	83.59	0.66	0.964
丙酸 Propionic acid/%	6.76	7.63	7.61	5.67	6.72	0.38	0.599
丁酸 Butyric acid/%	9.46	9.25	8.47	9.62	9.68	0.57	0.951
乙酸/（丙酸+丁酸） Acetic acid/(propionic acid+butyric acid)	5.17	5.00	5.30	5.62	5.44	0.26	0.958

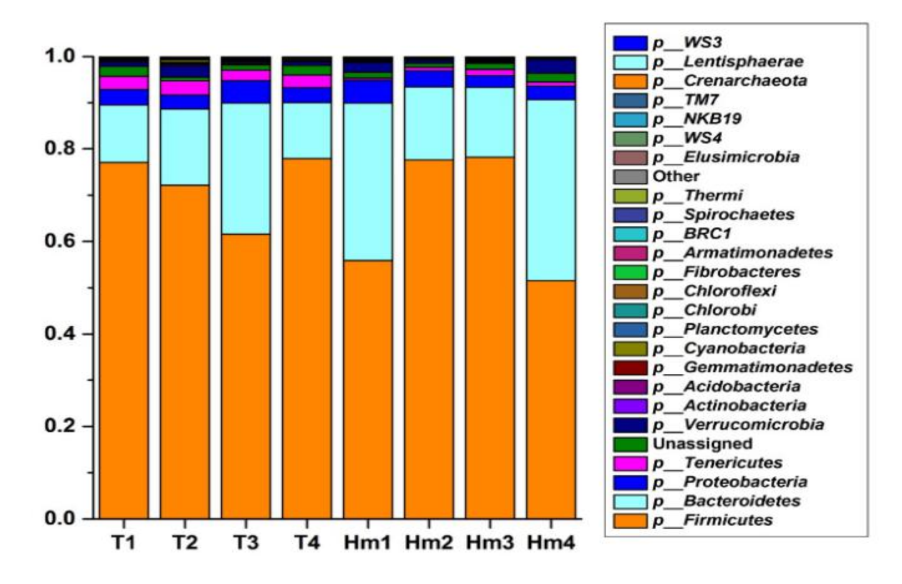
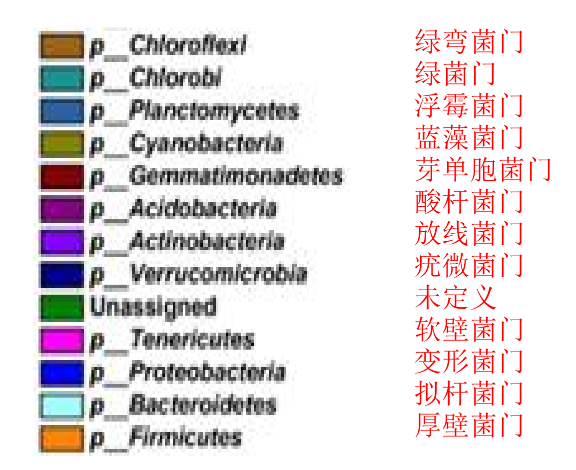


图 1　盲肠微生物门水平上的分布

Fig.1　Caecal microbial distribution at the phylum level

p__WS3	*WS3* 门
p__Lentisphaerae	黏胶球形菌门
p__Crenarchaeota	泉古菌门
p__TM7	*TM7* 门
p__NKB19	*NKB*19 门
p__WS4	*WS4* 门
p__Elusimicrobia	迷踪菌门
Other	其他门
p__Thermi	*Thermi* 门
p__Spirochaetes	螺旋体门
p__BRC1	*BRC*1 门
p__Armatimonadetes	装甲菌门
p__Fibrobacteres	纤维杆菌门



图中 T 表示对照组（C 组），Hm 表示 S100 组。图 2 同。

In the figure, T represents the control group (C group), and Hm represents the S100 group. The same as Fig.2.

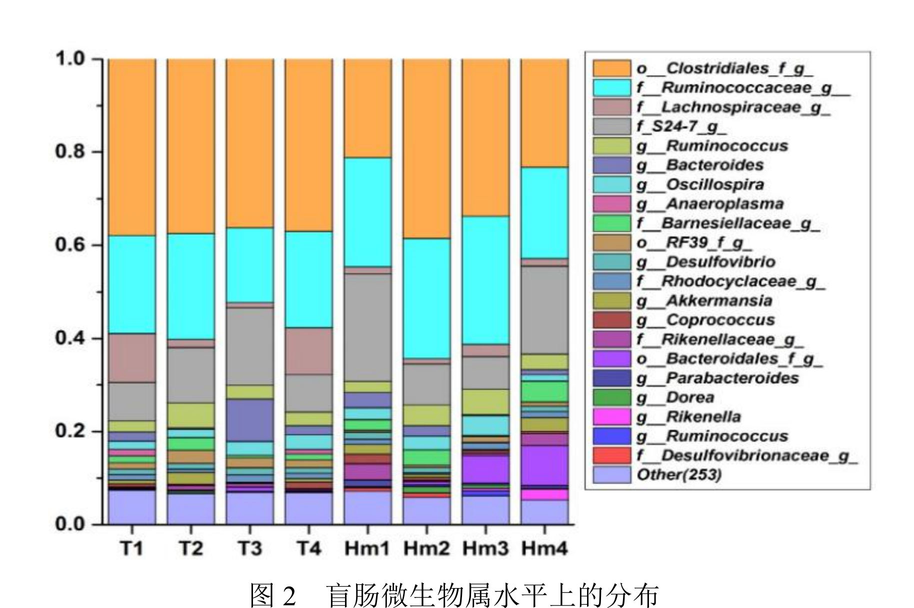
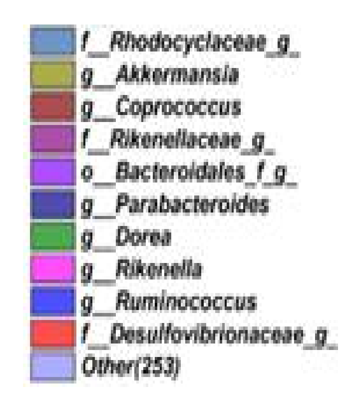


图 2　盲肠微生物属水平上的分布

Fig.2　Caecal microbial distribution at the genus level

o__Clostridiales_f_g_ 梭菌属
f__Ruminococcaceae_g__ 疣微菌科
f__Lachnospiraceae_g_ 毛螺旋菌属
f_S24-7_g_ *S24-7* 科
g__Ruminococcus 瘤胃球菌属
g__Bacteroides 拟杆菌属
g__Oscillospira 颤螺旋菌属
g__Anaeroplasma 厌氧支原体属
f__Barnesiellaceae_g_ 巴氏杆菌科
o__RF39_f_g_ *RF39* 目
g__Desulfovibrio 脱毒弧菌属



红环菌科
Akkermansia 属
粪球菌属
理研菌科
拟杆菌目
副杆菌属
Dorea 菌属
理研菌属
瘤胃球菌属
Desutfovibrionacea 属
其他（253）

3 讨 论

3.1 不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔肠道形态的影响

小肠是家兔消化和吸收养分的主要场所，其绒毛的物理作用与隐窝的化学作用联合发挥作用，促进养分的消化与吸收[23]。因此，小肠 VH、CD 和 V/C 可反映肠道的发育状况与消化吸收养分的能力。研究表明，纤维的来源影响家兔肠道形态[24-25]。中草药饲料添加剂中的有效成分（有机酸、黄酮类、生物碱等）可一定程度促进家兔肠道黏膜结构完整，并改善肠道结构[26]。本试验结果显示，替代组的小肠中 VH 和 V/C 在一定程度上有所增加，CD 基本接近。可见大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉后，可一定程度促进家兔对营养物质的消化吸收，且对动物的肠道发育无不利影响，这与薏苡仁在小鼠上的试验结果[27]相似。这与前期报道的饲粮中营养物质消化率及动物生长性能的结果[19]相匹配。分析其原因可能是大黑山薏苡草粉中含有与薏苡仁中相似的抗性淀粉，对家兔的肠道组织形态有一定的改善作用，同时增加了有益菌的增殖，进而促进家兔的消化能力[9-11,14]。

3.2 不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔肠道消化酶活性的影响

在动物消化代谢中，小肠黏膜中的消化酶发挥主要作用[28]。蔗糖酶来源于肠道脱落的肠上皮细胞，分解饲粮中的双糖为单糖，进而被动物吸收利用[29]。胰蛋白酶主要由胰腺分泌，主要反映动物对饲粮中的粗蛋白质的消化能力。维素酶和果胶酶主要由家兔盲肠中微生物产生，其活性受饲粮中纤维水平、来源的影响[30-32]。研究表明，中草药成分可一定程度激活小肠中的蔗糖酶活性[33]。同时随着动物的生长发育，二糖酶在成年期动物肠道中空肠中的蔗糖酶活性高于十二指肠和回肠[34]。本试验中蔗糖酶的活性以空肠较高，十二指肠和回肠次之，这与 Siddons[35]的研究结果一致，且与动物的生长发育一致。胰蛋白酶活性以回肠较高，其次为空肠，十二指肠最低。这说明蛋白质的消化主要在小肠的后半段。此外，本试验结果发现，替代组小肠各段酶活性（十二指肠蔗糖酶活性除外）均不同程度高于对照组，且以 S50 组较高。可见大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉后对小肠各段的消化酶活性无负面影响，并在一定程度上提高了试验兔肠道中的消化酶的活性。该结果与大黑山薏苡草粉对饲粮中的养分消

化率结果[19]相符。这可能与大黑山薏苡草粉中的功能性物质有一定的联系[3,6]。

3.3　不同比例大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔盲肠发酵参数及微生物组成的影响

盲肠作为家兔最重要的消化器官之一，其内环境影响微生物的生长与繁殖，进而影响家兔健康[32]。其中盲肠 pH 及氨态氮、挥发性脂肪酸含量是评定家兔肠道健康的重要指标。其中，NH_3-N 是主要的蛋白质分解产物，也是盲肠微生物合成菌体蛋白的重要底物[36]。此外，盲肠内挥发性脂肪酸中的短链脂肪酸在家兔的营养代谢及能量提供中发挥重要作用[37]。研究表明，盲肠 pH 增加会引起家兔腹泻率增加[38]。本试验中对照组盲肠 pH 略高于替代组，与前期试验兔的发病率（主要特征为腹泻）结果[19]相匹配，这可能是大黑山薏苡草粉中含有与薏苡仁中同样的抗腹泻的活性成分，间接影响了盲肠中的 pH[3-4,6,10-11]。此外，本试验中替代组盲肠 NH_3-N 含量均大于对照组，分析原因可能是替代后，提高了试验肉兔对蛋白质的利用，增加盲肠中的分解产物，进而增加了 NH_3-N 的含量。分析原因，可能与本试验中动物对饲粮中的粗蛋白质消化率有关[21]。另外，Gidenne 等[32]研究表明，饲粮中的纤维水平与挥发性脂肪酸的含量呈正相关，且提高乙酸比例，降低丁酸比例。并且饲粮中纤维的木质化程度对挥发性脂肪酸有负面影响[39]。本试验中，替代组的挥发性脂肪酸含量不同程度地高于对照组。这可能与大黑山薏苡草粉中的纤维组分的组成及类型有一定的关系，该结果与去壳薏苡在小鼠上的研究结果[11,16]相似。同时，微生物的变化，可改变盲肠内环境，从 C 组与 S100 组的盲肠微生物对比结果，可以进一步支撑盲肠参数的结果，证明大黑山薏苡草粉可以完全替代苜蓿草粉。

4　结　论

综上所述，大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔的肠道形态、肠道酶活性及盲肠发酵参数和微生物组成均无不利影响。本试验结果更进一步证明，大黑山薏苡草粉可以替代苜蓿草粉用于商品肉兔饲粮，建议比例为 50%。

参考文献：

[1] GIDENNE T.Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health:a review[J].Animal,2015,9(2):227–242.

[2] 王熙遥.中国苜蓿市场供给和需求关系研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古大学,2017:12–16.

[3] 赵晓明.薏苡[M].北京:中国林业出版社,2000:1–21.

[4] LIM T K.Coix lachryma-jobi[M].Netherlands:Springer,2013:243–261.

[5] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:化学工业出版社,2010:353–354.

[6] NISHIMURA M,OHKAWARA T,KAGAMI-KATSUYAMA H,et al.Alteration of intestinal flora by the intake of enzymatic degradation products of adlay (*Coix lachryma-jobi*,L. var.

ma-yuen,Stapf) with improvement of skin condition[J].Journal of Functional Foods,2014,7:487–494.

[7] CHUNG C P,HSIA S M,LEE M Y,et al.Gastroprotective activities of Adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. ma-yuen Stapf) on the growth of the stomach cancer AGS cell line and indomethacin-induced gastric ulcers[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2011,59(11):6025–6033.

[8] 张明发,沈雅琴.薏苡仁油抗消化系肿瘤的基础和临床研究[J].中国执业药师,2011,8(8):19–23.

[9] 李艳玲,齐玉梅.添加薏苡仁的肠内营养对脑卒中患者肠屏障功能的影响[J].卫生研究,2011,40(4):503–504.

[10] 朱自平,王红武,张明发,等.薏苡仁的消化系统药理研究[J].现代中药研究与实践,1998(4):36–38.

[11] CHIANG W,CHENG C Y,CHIANG M T,et al.Effects of dehulled adlay on the culture count of some microbiota and their metabolism in the gastrointestinal tract of rats.[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2000,48(3):829–832.

[12] 李爽,沈晓庆,章琦,等.薏苡仁及其麸炒品对动物胃肠动力的影响[J].亚太传统医药,2012,8(4):29–32.

[13] WANG C Y,LIN H T,WU S C.Influence of dietary supplementation with Bacillus-fermented adlay on lipid metabolism,antioxidant status and intestinal microflora in hamsters[J].Journal of the Science of Food & Agriculture,2011,91(12):2271–2276.

[14] BAO C,ZENG H L,ZHANG Y,et al.Structural characteristics of semen coicis resistant starch and its effect on the proliferation of *Bifidobacterium bifidum*[J].Chinese Journal of Structural Chemistry,2017,36(3):511–521.

[15] 易醒,侯海涛,吴达成,等.在体单向灌流法研究 W/O/W 型薏苡仁油复乳的大鼠肠吸收特性[J].南昌大学学报（理科版）,2016,40(3):244–249.

[16] 杨宝贵.薏仁米秸杆饲料化利用前景分析[J].经济管理（文摘版）,2016(3):323.

[17] 鲁院院,田刚,余冰,等.晒干大黑山薏苡全株在生长肉兔上的营养价值评定[J].草业科学,2017,34(5):1100–1106.

[18] 翁长江.薏苡副产品对兔及猪生长性能的影响[J].饲料博览,2013(10):37–39.

[19] 田刚,鲁院院,余冰,等.不同比例大黑山薏苡草粉饲粮对生长兔生产性能、养分消化率和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2018,30(5)：1928-1935.

[20] BLASCO A,OUHAYOUN J,MASOERO G.Status of rabbit meat and carcass:criteria and terminology[J].Options Méditerranéennes-Série A：Séminaires,1992:105–120.

[21] SPILLER G A,CHERNOFF M C,HILL R A,et al.Effect of purified cellulose,pectin,and a low-residue diet on fecal volatile fatty acids,transit time,and fecal weight in humans[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1980,33(4):754–759.

[22] WEATHERBURN M W.Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia[J].Analytical Chemistry,1967,39(8):971–974.

[23] CASPARY W F.Physiology and pathophysiology of intestinal absorption[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1992,55(1):299S–308S.

[24] DE BLAS C,GARCÍA J,CARABAÑO R.Role of fibre in rabbit diets.A review[J].Annales De Zootechnie,1999,48(1):3–13.

[25] CHIOU P W S,YU B,LIN C.Effect of different components of dietary fiber on the intestinal morphology of domestic rabbits[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part

A:Physiology,1994,108(4):629–638.
[26] 吕惠敏.复方中草药有效成分的分析及对兔肠道功能的影响[D].硕士学位论文.福建:福建农林大学,2012:44–50.
[27] HA D T,NAM T T,BICH T N,et al.Adlay seed extract (*Coix lachryma-jobi* L.) decreased adipocyte differentiation and increased glucose uptake in 3T3-L1 cells[J].Journal of Medicinal Food,2010,13(6):1331–1339.
[28] GRAY G M.Carbohydrate digestion and absorption-role of the small intestine[J].New England Journal of Medicine,1975,292(23):1225–1230.
[29] 张云刚,陈安国.小肠黏膜二糖酶的研究进展[J].饲料工业,2003,24(3):16–18.
[30] DE BLAS C,WISEMAN J.Nutrition of the rabbit[Z].CABI,2010.
[31] CALVERT R,SCHNEEMAN B O,SATCHITHANANDAM S,et al.Dietary fiber and intestinal adaptation:effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1985,41(6):1249–1256.
[32] GIDENNE T,JEHL N,SEGURA M,et al.Microbial activity in the caecum of the rabbit around weaning:impact of a dietary fibre deficiency and of intake level[J].Animal Feed Science and Technology,2002,99(1/2/3/4):107–118.
[33] 刘晓雯,刘克武,江琰,等.部分中药材及调味料对小肠蔗糖酶活性的影响[J].中国生化药物杂志,2003,24(5):229–232.
[34] UNI Z,NOY Y,SKLAN D.Posthatch development of small intestinal function in the poult[J].Poultry Science,1999,78(2):215–222.
[35] SIDDONS R C.Effect of diet on disaccharidase activity in the chick[J].British Journal of Nutrition,1972,27(2):343–352.
[36] 晁洪雨,李福昌.日粮 ADF 水平对生长肉兔氮平衡、免疫及消化酶活性的影响[J].中国饲料,2007(15):18–20,23.
[37] GIDENNE T.The caecal ecosystem in the growing rabbit:impact of nutritional and feeding factors[J].Rabbit Congress of the America,2006(3):1–17.
[38] 刘方正.干苹果渣对断奶幼兔生长性能和盲肠内环境的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2011:23–26.
[39] GARCÍA J,GIDENNE T,FALCAO-E-CUNHA L,et al.Identification of the main factors that influence caecal fermentation traits in growing rabbits[J].Animal Research,2002,51(2):165–173.

Effects of Dietary Replacement of Alfalfa Meal by *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan Meal on Intestinal Morphology, Digestive Enzyme Activity and Cecal Fermentation Parameters of Growing Meat Rabbits

TIAN Gang LU Yuanyuan* YU Bing ZENG huijin CHEN Daiwen LUO Yuheng CAI Jingyi

(*Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education*, *Animal Nutrition Institute, Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*)

Author, TIAN Gang, associate professor, E-mail: tgang2008@126.com
*Contributed equally
（责任编辑 武海龙）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary different proportions *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal replacement alfalfa meal on intestinal morphology, digestive enzyme activity and cecal fermentation parameters of growing meat rabbits. A total of 100 weaned New Zealand white rabbits (35-day-old) with a similar weight were randomly assigned to 5 groups with 10 replicates per group and 2 rabbits per replicate. Rabbits in the control group (C group) and 4 replacement groups (S25, S50, S75 and S100 groups) were fed 5 experimental diets with different proportions (0, 25%, 50%, 75% and 100%) of alfalfa meal replaced by *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal. The experiment lasted for 15 days. On the 15th day of the experiment, 4 rabbits with an average body weight from each group were selected and slaughtered, and the tissue, mucous and digesta samples in small intestine and cecum were collected immediately for further analysis. The results indicated that there were no significant differences in the average daily intake, average daily gain and feed to gain ratio among all the groups (P>0.05). There were no significant differences in the villus height, crypt depth and the ratio of villous height to crypt depth in small intestine and crypt depth in cecum among all the groups (P>0.05). The duodenum sucrase activity in S50 groups was significantly higher than that in S75 and S100 groups (P<0.05), however, there were no significant differences in the activity of other digestive enzymes in other intestinal tract among all groups (P>0.05), and the digestive enzyme activity was the highest in S50 group. There were no significant differences in the pH and contents of ammonia nitrogen, total volatile fatty acids, acetic acid, propionic acid and butyric acid, and acetic acid/(propionic acid+butyric acid) in cecum among all the groups (P>0.05). According to the results of 16S rRNA sequencing, the diversity of cecal microorganisms showed no difference at the phylum level and genus level between C group and S100 group. The results indicated that the dietary alfalfa meal replaced by the *Coixlacryma-jobi* cv. Daheishan meal has no significant effects on intestinal morphology, digestive enzyme activity and cecal fermentation parameters of growing meat rabbits, and the dietary alfalfa meal can be completely replaced by *Coixlacryma-jobi* cv. Daheishan meal, and the recommended substitution ratio is 50%.

Key words: *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal; growing meat rabbits; intestinal morphology; digestive enzyme activity; caecum fermentation